

PO DE 99 / 031 46

DEUTSCHLAND
09/830658

PRIORITY
DOCUMENT

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 09 DEC 1999
WIPO PCT

DE99/3146

Bescheinigung

EC

Die Mannesmann Aktiengesellschaft in Düsseldorf/Deutschland hat eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Interferenzanalyse für ein Mobilfunknetz mit adaptiven Antennen"

am 30. Oktober 1998 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol H 04 Q 7/36 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 17. August 1999

Deutsches Patent- und Markenamt

Der Präsident

Im Auftrag

Wehner

Wehner

Aktenzeichen: 198 51 701.7

5 **Interferenzanalyse für ein Mobilfunknetz mit adaptiven Antennen**

Beschreibung

10 Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Interferenzanalyse für ein adaptive Antennen
in zumindest einigen Funkzellen aufweisendes Mobilfunknetz mit Verkehrskanälen
und Steuerkanälen.

In Mobilfunknetzen werden Frequenzen für Verkehrskanäle und Steuerkanäle
15 mehrfach vergeben, wobei eine Störung von Verkehrs- oder Steuerkanälen in einer
Funkzelle auf Steuer- oder Verkehrskanäle in einer anderen, beispielsweise
benachbarten Funkzelle nur bis zu einem vorgegebenen Schwellwert zugelassen wird
und eine über den Schwellwert hinausgehende Störung bei der interferenzanalysen-
basierten Frequenzzuweisung zu Steuerkanälen und Verkehrskanälen vermieden
20 wird.

Aus der Veröffentlichung "A Heuristic Technique ...", IEEE Transactions on Vehicular
Technology, 1979, Frank Box, ist eine Interferenzanalyse für die Funknetzplanung in
einem Mobilfunknetz bekannt.

25 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist eine Interferenzanalyse, welche möglichst
einfach und effizient eine Funknetzplanung in einem Mobilfunknetz mit adaptiven
Antennen in zumindest einigen Funkzellen ermöglicht. Die Aufgabe wird durch die
Gegenstände der unabhängigen Ansprüche gelöst.

30 Das erfindungsgemäße Verfahren erlaubt eine effiziente und hochwertige, an die
Besonderheiten eines Mobilfunknetzes mit adaptiven Antennen angepaßte
rechnergestützte Interferenzanalyse.

Durch Verwendung einer adaptiven Antenne in einer Funkzelle können die Interferenzen von und in diese Funkzelle reduziert werden. Dabei weist die adaptive Antenne mehrere, stark gebündelte Antennendiagramme auf (im weiteren Beams genannt), die jeweils separat aktiviert werden können und nebeneinander liegende, sich überlappende Ortsteilbereiche abdecken. Pro Frequenz und TDMA-Zeitschlitz der Funkzelle ist ein einziges gebündeltes Diagramm aktiviert. Für eine Funkzelle werden zwar die Verkehrskanäle über adaptive Antennen der Basisstation der Funkzelle ausgestrahlt, die Steuerkanäle einer Zelle jedoch in der Regel von einer herkömmlichen Antenne mit einem Abdeckungsbereich über die gesamte Zelle ausgesendet, um in der Zelle einen einheitlichen Empfang der Steuersignale möglichst einfach zu ermöglichen.

Das erfindungsgemäße Verfahren bzw. die erfindungsgemäße Frequenzplanungsvorrichtung erlauben eine effiziente, rechnergestützt ausführbare, hochwertige Interferenzanalyse eines Mobilfunknetzes mit derartigen Antennen.

Weitere Merkmale und Vorteile der Erfindung ergeben sich aus den Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung eines Ausführungsbeispiels anhand der Zeichnung. Dabei zeigt

Fig. 1 als Ablaufdiagramm den Planungsprozeß für ein herkömmliches Mobilfunknetz,

Fig. 2 die Definition kanalabhängiger Interferenzmatrizen für ein herkömmliches, Verkehrskanäle und Steuerkanäle umfassendes Mobilfunknetz,

Fig. 3 die Modellierung einer adaptiven Antenne durch mehrere stark bündelnde Antennen mit jeweils einem unterschiedlichen Antennendiagramm (Beam),

Fig. 4 die unterschiedlichen, aufgrund der Modellierung in Fig. 3 erhaltenen Einträge für die Interferenz zwischen zwei Funkzellen,

Fig. 5 die Berechnung der Interferenzwahrscheinlichkeit zwischen einer Zelle mit adaptiver Antenne und einer Zelle mit herkömmlicher Antenne,

5 Fig. 6 die Berechnung der Interferenzwahrscheinlichkeit zwischen zwei Funkzellen mit jeweils einer adaptiven Antenne,

10 Fig. 7 die Vorgehensweise bei der Ermittlung der kanalabhängigen Matrizen bei Berücksichtigung von adaptiven Antennen,

15 Fig. 8 den modifizierten Planungsprozeß.

20 Fig. 1 zeigt als Blockschaltbild den Ablauf des Funknetzplanungsprozesses nach der analytischen Methode für ein herkömmliches Mobilfunknetz. Nach der Konfigurierung des Radionetzwerkes 1, der Feldstärkevorhersage 2 und der Zellflächenberechnung 3 wird einerseits eine Verkehrsberechnung 4 und eine Kanalanforderungsberechnung 5 pro Zelle sowie andererseits eine Interferenzanalyse 6 der Interferenzen zwischen den berechneten (3) Funkzellen und eine Verträglichkeitsanalyse 7 aufgrund berechneter Interferenzen (6) durchgeführt, worauf den Funkzellen Frequenzen zugewiesen werden 8.

25 Fig. 2 zeigt die Basisstationen BS_i 9 und BS_j 10 für zwei Zellen des Mobilfunknetzes. Von beiden Zellen werden über Verkehrskanäle TCH Sprachinformationen gesendet und empfangen sowie über Steuerkanäle BCCH etc. Steuerinformationen ausgestrahlt. Dabei erreichen jedoch die Signale der Verkehrskanäle TCH und Steuerkanäle BCCH der Zelle mit BS_i ungewollt auch die Zelle mit BS_j und interferieren mit den von der BS_j 10 auf Verkehrskanälen und Steuerkanälen ausgesendeten Signalen. Dabei stören (Matrix_tt) sich die Verkehrskanäle TCH der BS i und die Verkehrskanäle TCH der BS j. Auch interferieren (Matrix_bb) die Steuerkanäle BCCH etc. der BS_i und der BS_j . Ferner interferieren (Matrizen_tb und _bt) jeweils die Verkehrskanäle der einen Zelle mit den Steuerkanälen der anderen Zelle.

Zur Interferenzanalyse wird nun im gesamten Mobilfunknetz das Ausmaß der Interferenzen von in einer Zelle ausgesandten Nutzsignalen (= carrier = c) zur dortigen Intensität der aus einer anderen Zellen ausgesandten Störsignale (= Interference = I) für TCH und BCCH untersucht. Wenn die Störungen zwischen zwei Zellen zu groß sind, wird für diese beiden Zellen ein Gleichfrequenzausschluß definiert. Dabei können für die eben noch zulässigen Interferenzen zwischen zwei Zellen hinsichtlich der Verkehrskanäle TCH und der Steuerkanäle BCCH etc. unterschiedliche Schwellwerte (für Matrix_tt, _tb, _bt, _bb) definiert werden. Grund dafür ist, daß der BCCH-Träger mit voller Leistung ausgesendet wird, da auf ihm wichtige Informationen ausgestrahlt werden. Als Folge dieses Sachverhalts greifen auf einem BCCH-Träger keine interferenzverringenden Maßnahmen wie z.B. Power Control oder Frequency Hopping. Aufgrund der wichtigen Informationen, die über den BCCH ausgestrahlt werden, unterliegt ein BCCH-Träger aber auch einer höheren Anforderung an die Störfestigkeit als ein TCH-Träger.

Das Verhältnis der Störung eines Nutzsignals in einer Zelle durch aus anderen Zellen eingestraute Signale wird auch als carrier-to-interference-ratio oder Interferenzverhältnis von Nutzsignal C zu Störsignal I bezeichnet.

Adaptive Antennen weisen pro TDMA-Zeitschlitz einen relativ schmalen Abdeckungsbereich auf: Herkömmliche Interferenzanalyse-Verfahren zur Analyse der Interferenz zwischen einer Zelle mit adaptiver Antenne und einer anderen Zelle mit oder ohne adaptive Antenne sind ohne weiteres nicht geeignet.

Fig. 3 zeigt die beim erfindungsgemäßen Verfahren gewählte Modellierung einer Basisstation mit adaptiver Antenne 9 durch n unterschiedliche Basisstationen mit jeweils einer stark bündelnden Antenne. Die einzelnen Diagramme dieser Antennen sind durch die Bezugszeichen 11 bis 18 gekennzeichnet. Die adaptiven Antennen ermöglichen eine Reduzierung der interzellularen Interferenzen, da zu jedem TDMA-Zeitschlitz nur ein Teilbereich der entsprechenden Sektorfläche ausgestrahlt wird. Auf der Basis dieser Modellierung können die Schritte 2 bis 6 des Planungsprozesses in Fig. 1 durchgeführt werden.

Wie Fig. 4 verdeutlicht, erhält man dadurch beispielsweise für die Interferenz zwischen der Funkzelle von BS_i (mit adaptiver Antenne) und der Funkzelle von BS_j (ohne adaptive Antenne) n Einträge in der Interferenzmatrix I_{tt} . Hierbei bezeichnet beispielsweise $I_{in,j}$ 19 die Interferenzwahrscheinlichkeit der von BS_j 20 ausgestrahlten Verkehrskanalsignale auf die Verkehrskanalsignale der dem Beam n 21 entsprechenden Zelle.

Analog erhält man für die Interferenz zwischen zwei Zellen, die beide mit adaptiven Antennen ausgestattet sind, ($n \times n$) Einträge in der Interferenzmatrix.

Da jedoch für die Verträglichkeitsberechnung jeweils ein Eintrag für die von einer Zelle auf eine andere verursachte Interferenzwahrscheinlichkeit benötigt wird, müssen die einzelnen Einträge in Fig. 4 unter Berücksichtigung der zeitschlitzgemäßen Aktivierung der einzelnen Beams zu einem einzigen Eintrag zusammengefaßt werden, der die äquivalente Interferenzwahrscheinlichkeit zwischen den beiden Zellen repräsentiert.

Fig. 5 zeigt die Bestimmung der äquivalenten Interferenzwahrscheinlichkeiten I_{ij} 22 für die Interferenz von Verkehrskanalsignalen aus einer herkömmlichen Antenne der Basisstation BS_j auf die Verkehrskanalsignale einer mit einer adaptiven Antenne ausgestatteten Basisstation i. T_{ib} 23 bezeichnet hierbei das Verkehrsaufkommen in dieser Teilzelle, dessen Verhältnis zum Gesamtverkehr 24 in Zelle i die Wahrscheinlichkeit für die Aktivierung des Beams b wiedergibt. Die äquivalente Interferenzwahrscheinlichkeit gibt somit den Erwartungswert für die Interferenzwahrscheinlichkeit zwischen Zelle i und Zelle j.

Fig. 6 zeigt die Bestimmung der äquivalenten Interferenzwahrscheinlichkeit 25 zwischen der Zelle mit BS_j und der Zelle mit BS_i , die beide mit adaptiven Antennen ausgestattet sind.

Fig. 7 zeigt die Vorgehensweise bei der Berechnung der Matrizen I_{bb} , I_{tb} , und I_{bt} . Da bei einer Funkzelle mit adaptiver Antenne die Steuerkanäle von einer herkömmlichen Antenne mit einem Abdeckungsbereich über die gesamte Zelle ausgestrahlt werden, muß für die Matrizen I_{bb} , I_{tb} , und I_{bt} eine (verglichen mit

Fig. 5 und 6) andere Interferenzanalyse verwendet werden. Daher werden bei der Interferenzanalyse zwei Konfigurationen gleichzeitig betrachtet. Zum einen die Konfiguration mit den adaptiven Antennen (Konfiguration A in Fig. 7) und zum anderen die Konfiguration mit den Sektorantennen (Konfiguration B in Fig. 7).

5 Zusätzlich zu den Berechnungen für die Konfiguration A (Schritte 2 bis 6 in Fig. 1) werden für die Konfiguration B die Berechnungsschritte 2, 3 und 6 in Fig. 1 durchgeführt.

Für das Endergebnis erhält man die Matrix I_{tt} 26 von der Berechnung zur Konfiguration A gemäß der Vorgehensweise in Fig. 5 und 6. Die Matrix I_{bb} 27 erhält 10 man aus der Berechnung zur Konfiguration B. Die Matrizen I_{tb} 28 und I_{bt} 29 erhält man aus der Kombination der gemischten Matrizen 30, 31, 32, und 33. So werden beispielsweise für die Matrix I_{tb} 28 die Einträge $(Ij,i)_{tb}$ 34 aus der Matrix 30 und $(Ii,j)_{tb}$ 35 aus der Matrix 32 kopiert.

Fig. 8 zeigt als grobes Ablaufdiagramm die für ein Mobilfunknetz mit adaptiven 15 Antennen modifizierte Vorgehensweise bei der Funknetzplanung. So werden im Schritt 36 modifizierte Interferenz-Matrizen berechnet, welche berücksichtigen, daß einerseits adaptive Antennen von (zumindest einigen) Funkzellen des Mobilfunknetzes unterschiedliche Hauptabstrahlrichtungen und damit unterschiedliche 20 Interferenzen auf Nachbarzellen aufweisen und andererseits Steuerkanäle auch in Funkzellen mit adaptiven Antennen einheitlich für die Funkzelle angesteuert werden können.

Patentansprüche

1. Verfahren zur Interferenzanalyse für ein in zumindest einigen seiner Zellen (Fig. 4 BS i) eine adaptive Antenne aufweisendes Mobilfunknetz mit Verkehrskanälen und Steuerkanälen
 - wobei (Fig. 6) für die Mobilfunknetz-Frequenzzuweisungsplanung jeweils das Interferenz-Verhältnis (C/I bzw. I_{ij}) der Interferenz (I) der Verkehrskanäle (11;12;...18 in Fig. 3 und BS i, BS j in Fig. 6) einer adaptiven Antenne einer ersten Zelle (BS j) auf Verkehrskanäle einer adaptiven Antenne einer zweiten Zelle (BS i) berechnet wird als Summe der mit den Verkehrswerten der einzelnen Teilzellen gewichteten Interferenzwahrscheinlichkeiten
$$(Prob \{MS \text{ in Beam } b\} \cdot Prob \{MS \text{ in Beam } a\} \cdot I_{ib,ja})$$
der Interferenzen jeweils eines Verkehrskanals der adaptiven Antenne der ersten Zelle zu einem Nutzsignal jeweils eines Verkehrskanals der adaptiven Antenne der zweiten Zelle unter Summierung der Werte des Verkehrs in allen Teilflächen der von den Antennendiagrammen der adaptiven Antennen der ersten und zweiten Zelle abgedeckten Funkzellen-Teilflächen,
 - wobei (Fig. 5) das Interferenzverhältnis (I_{ij}) der Interferenz eines Verkehrskanals einer ersten Zelle (BS j) ohne adaptive Antenne auf Verkehrskanäle einer zweiten Zelle (BS i) mit einer adaptiven Antenne berechnet wird als Summe der mit den Verkehrswerten der einzelnen Teilzellen gewichteten Interferenzwahrscheinlichkeiten
$$(Prob \{MS \text{ in Beam } b\} \cdot I_{ib,j})$$
 der Interferenzen dieses Verkehrskanals der ersten Zelle (BS j) auf jeweils einen Verkehrskanal (19, 20, 21) der adaptiven Antenne der zweiten Zelle (BS i) unter Summierung der Werte des Verkehrs in allen Teilflächen der von den Antennendiagrammen der adaptiven Antenne abgedeckten Funkzellen-Teilflächen,

- wobei (Fig. 7) das Interferenzverhältnis der Interferenz eines Steuerkanals einer ersten Zelle (BS_i) mit oder ohne adaptive Antenne auf einen Steuerkanal einer zweiten Zelle (BS_j) mit oder ohne adaptive Antenne bezogen auf die Gesamtzellfläche berechnet wird aus dem Nutzsignal-Störsignalverhältnis ($(I_{j,i} / I_b)$) dieser Steuerkanäle in der jeweils gesamten Zellfläche ohne Berücksichtigung eventueller adaptiver Antennen einer oder beider dieser Zellen (BS_j, BS_i).

5

2. Verfahren nach Anspruch 1,
dadurch gekennzeichnet,
10 daß als Interferenz-Schwellwert oberhalb dessen ein Gleichfrequenzausschluß betrachteter Zellen definiert wird, für die Interferenz zwischen Verkehrskanälen ein anderer Wert festgelegt wird als für die Interferenz zwischen Verkehrskanälen und Steuerkanälen.

15

3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2,
dadurch gekennzeichnet,
daß ein Antennendiagramm einer Funkzelle jeweils einen örtlichen Teilbereich der Funkzellenfläche abdecken kann.

20

4. Verfahren nach einem der vorhergehenden Ansprüche,
dadurch gekennzeichnet,
daß als Verkehr in einer von einer adaptiven Antenne einer Zelle abgedeckten Fläche jeweils die Summe über die Werte des Verkehrs in allen Teilflächen der von den Antennendiagrammen der adaptiven Antenne abgedeckten Funkzellen-Teilflächen definiert wird.

25

5. Frequenzplanungsvorrichtung für die Interferenzanalyse für ein zumindest einige Zellen mit einer adaptiven Antenne aufweisendes Mobilfunknetz mit Verkehrskanälen (TCH) und Steuerkanälen (BCH, BCCH etc.), welche so ausgebildet sind,
 - daß (Fig. 6) für die Mobilfunknetz-Frequenzzuweisungsplanung das Interferenz-Verhältnis (C/I) der Interferenz (I) der Verkehrskanäle einer

ersten Zelle (BS_j) mit einer adaptiven Antenne auf Verkehrskanäle einer zweiten Zelle (BS_i) mit einer adaptiven Antenne zu einem Nutzsignal in der zweiten Zelle (BS_i) berechnet wird als Summe der mit den Verkehrswerten der einzelnen Teilzellen gewichteten Interferenzwahrscheinlichkeiten

5

($\text{Prob } \{\text{MS in Beam } b\} \cdot \text{Prob } \{\text{MS in Beam } a\} \cdot I_{ib,ja}$)

10

der Interferenzen jeweils eines Verkehrskanals (25;26) der adaptiven Antenne der ersten Zelle zu einem Nutzsignal jeweils eines

Verkehrskanals der adaptiven Antenne der zweiten Zelle (BS_i),

15

daß (Fig. 5) das Interferenzverhältnis der Interferenz eines Verkehrskanals einer ersten Zelle ohne adaptive Antenne auf Verkehrskanäle einer zweiten Zelle (BS_i) mit einer adaptiven Antenne berechnet wird als

Summe der mit den Verkehrswerten der einzelnen Teilzellen gewichteten Interferenzwahrscheinlichkeiten ($\text{Prob } \{\text{MS in Beam } b\} \cdot I_{ib,j}$) der

15

Interferenzen eines Verkehrskanals der ersten Zelle (BS_j) auf jeweils

einen Verkehrskanal der adaptiven Antenne der zweiten Zelle (BS_i),

daß (Fig. 7 oben rechts) das Interferenzverhältnis der Interferenz eines Steuerkanals einer ersten Zelle (BS_j) mit oder ohne adaptive Antenne auf

einen Steuerkanal einer zweiten Zelle (BS_i) mit oder ohne adaptive

20

Antenne bezogen auf die Gesamtzellfläche berechnet wird aus dem

Nutzsignal-Störsignalverhältnis ($I_{j,i}$) dieser Steuerkanäle in der jeweils

gesamten Zellelfäche ohne Berücksichtigung eventueller adaptiver

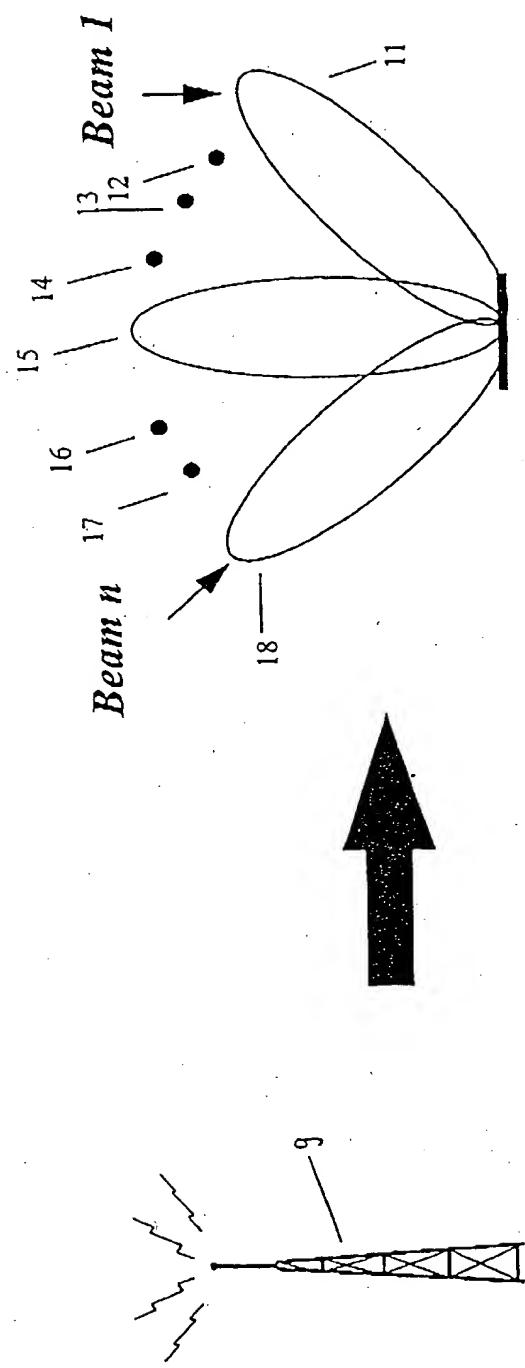
Antennen einer dieser Zellen (BS_j, BS_i).

Zusammenfassung

Eine effiziente, hochwertige, Eigenheiten von adaptiven Antennen berücksichtigende Interferenzanalyse wird ermöglicht durch eine Frequenzplanungsvorrichtung bzw. ein Verfahren zur Interferenzanalyse für ein in zumindest einigen seiner Zellen (Fig. 4 5) eine adaptive Antenne aufweisendes Mobilfunknetz mit Verkehrskanälen und Steuerkanälen

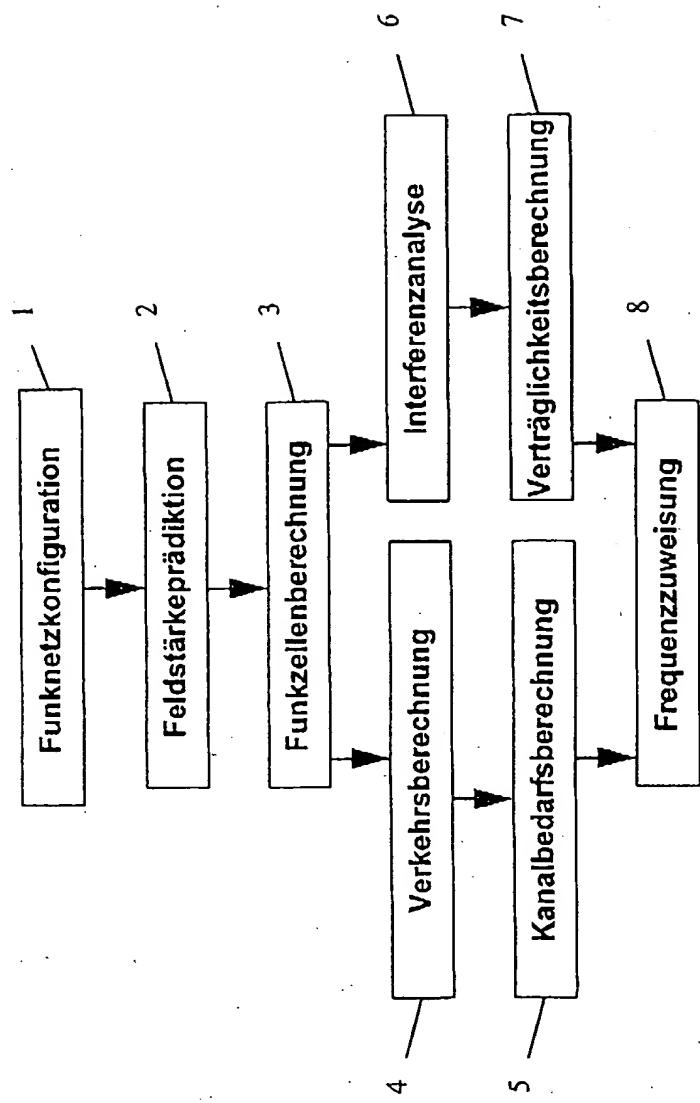
- wobei (Fig. 6) für die Mobilfunknetz-Frequenzzuweisungsplanung jeweils das Interferenz-Verhältnis (C/I bzw. $I_{i,j}$) der Interferenz (I) eines Verkehrskanals (11;12;...18 in Fig. 3 und BS_i, BS_j in Fig. 6) einer adaptiven Antenne einer ersten Zelle (BS_j) auf Verkehrskanäle einer adaptiven Antenne einer zweiten Zelle (BS_i) berechnet wird als Summe der mit den Verkehrswerten der einzelnen Teilzellen gewichteten Interferenzwahrscheinlichkeiten ($Prob \{MS \text{ in Beam } b\} . Prob \{MS \text{ in Beam } a\} . I_{ib,ja}$)
- 10 - der Interferenzen jeweils eines Verkehrskanals der adaptiven Antenne der ersten Zelle zu einem Nutzsignal jeweils eines Verkehrskanals der adaptiven Antenne der zweiten Zelle,
- wobei (Fig. 5) das Interferenzverhältnis ($I_{i,j}$) der Interferenz eines Verkehrskanals einer ersten Zelle (BS_j) ohne adaptive Antenne auf einen 15 Verkehrskanal einer zweiten Zelle (BS_i) mit einer adaptiven Antenne berechnet wird als Summe der mit den Verkehrswerten der einzelnen Teilzellen gewichteten Interferenzwahrscheinlichkeiten ($Prob \{MS \text{ in Beam } b\} . I_{ib,j}$) der Interferenzen eines Verkehrskanals der ersten Zelle (BS_j) auf jeweils einen Verkehrskanal der adaptiven Antenne der zweiten Zelle (BS_i),
- 20 - wobei das (Fig. 7) Interferenzverhältnis der Interferenz eines Steuerkanals einer ersten Zelle (BS_i) mit oder ohne adaptive Antenne auf einen Steuerkanal einer zweiten Zelle (BS_j) mit oder ohne adaptive Antenne bezogen auf die Gesamtzellfläche berechnet wird aus dem Nutzsignal-Störsignalverhältnis ($(I_{i,i})_{tb}$) dieser Steuerkanäle in der jeweils gesamten Zellfläche ohne Berücksichtigung eventueller adaptiver Antennen einer oder beider dieser Zellen 25 (BS_j, BS_i).

(Fig. 3)

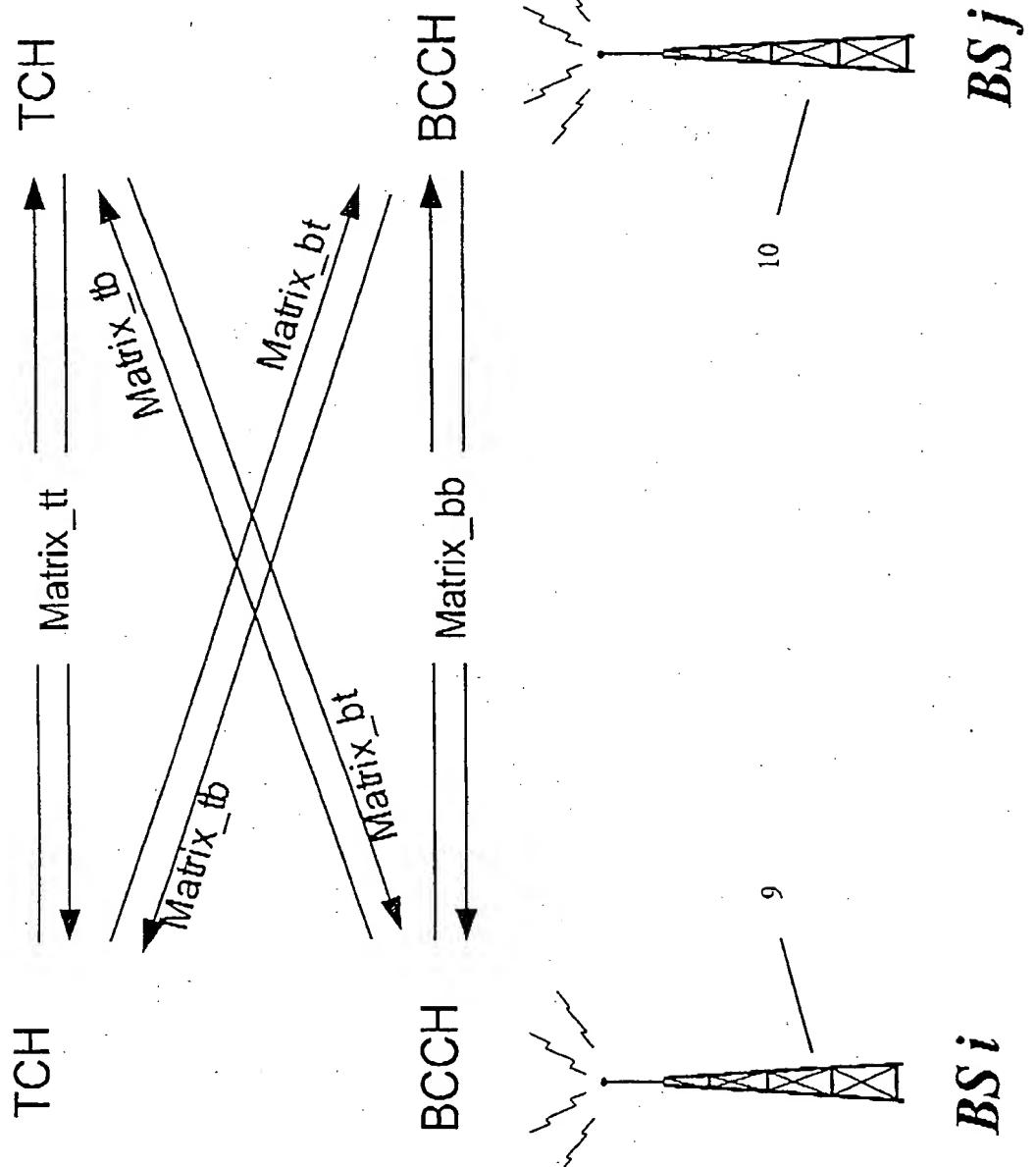


Eine mit adaptiver Antenne
ausgestattete Basisstation
Definition von n Antennen
mit n unterschiedlichen
Antennendiagrammen (Beams)

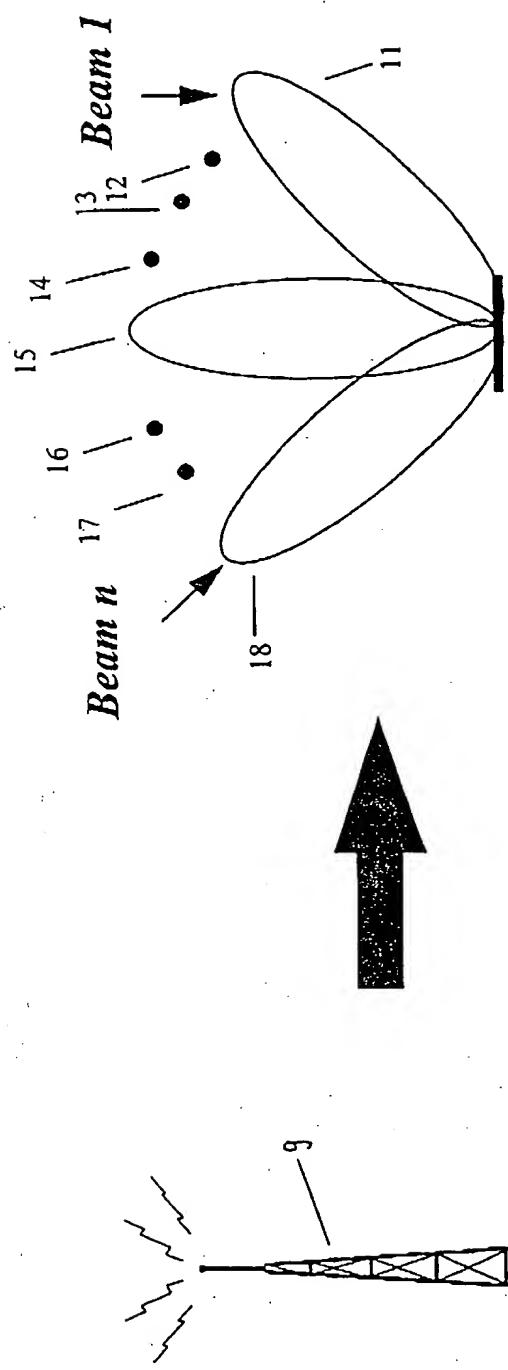
Figur 3



Figur 1



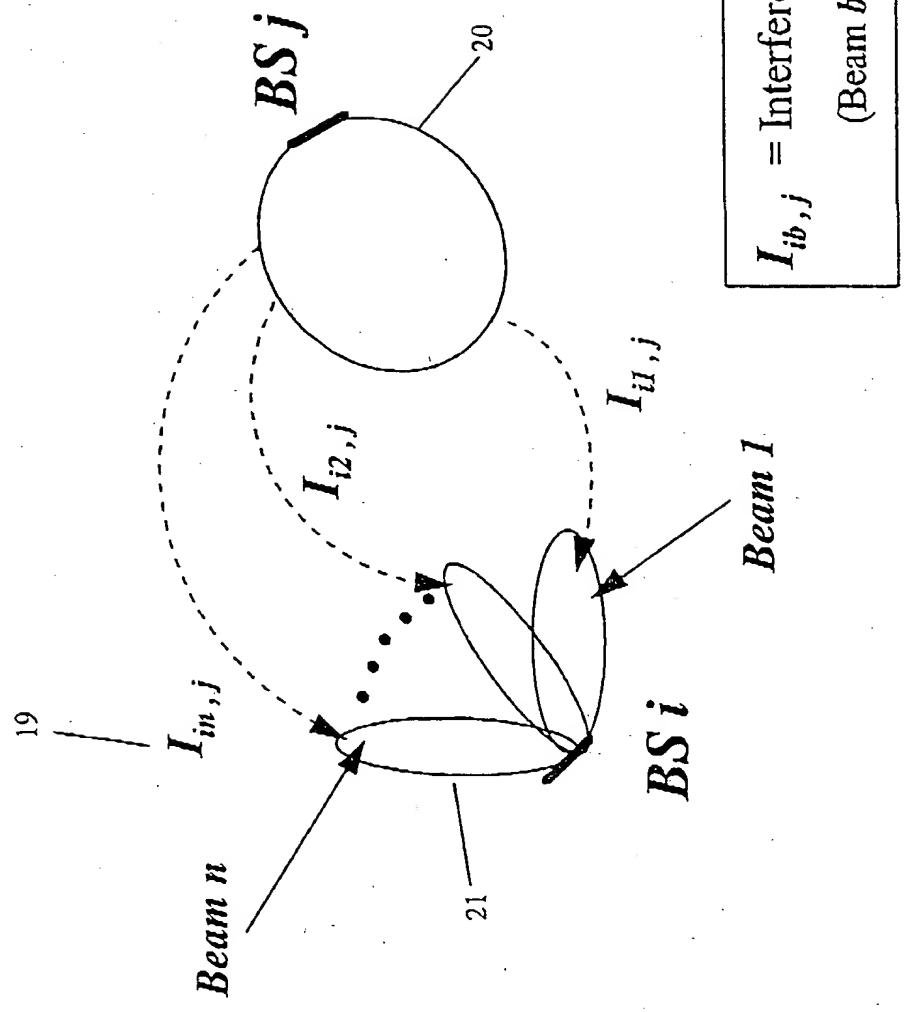
Figur 2



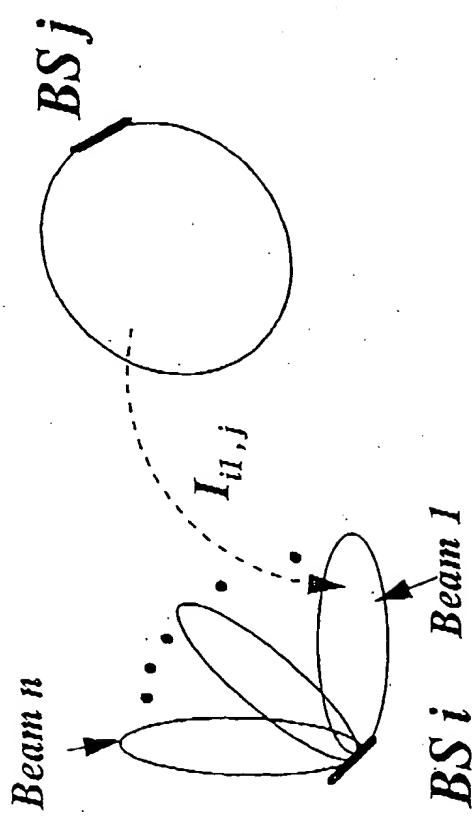
Eine mit adaptiver Antenne
ausgestattete Basisstation

Definition von n Antennen
mit n unterschiedlichen
Antennendiagrammen (Beams)

Figur 3



Figur 4



23 T_{ib} = Verkehr (Beam b , BS i)

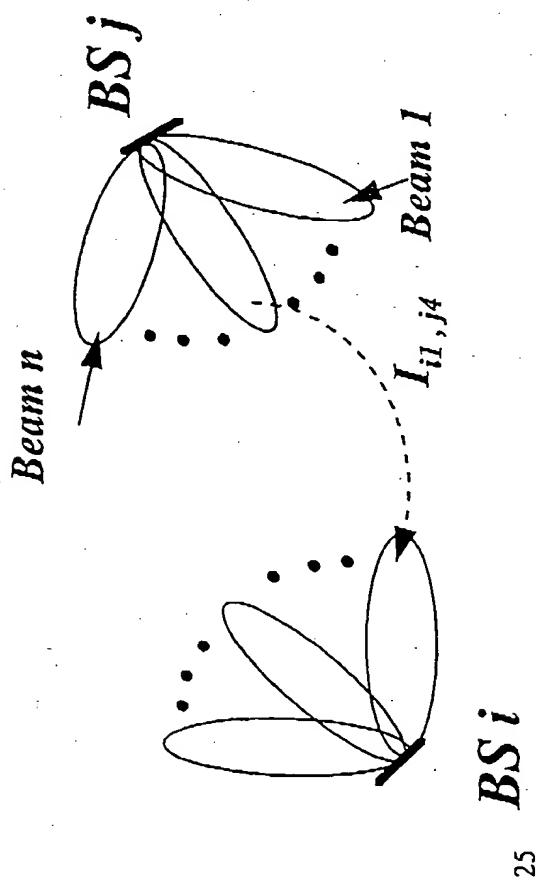
$I_{ib,j}$ = Interferenzwahrscheinlichkeit
(Beam b , BS $i \leftarrow$ BS j)

$$22 - I_{i,j} = \frac{\sum_{b=1}^n T_{ib} \cdot I_{ib,j}}{\sum_{b=1}^n T_{ib}}$$

23 T_{ib}

24 $I_{ib,j}$

Figur 5



$$T_{ib} = \text{Verkehr (Beam } b, \text{ BS } i)$$

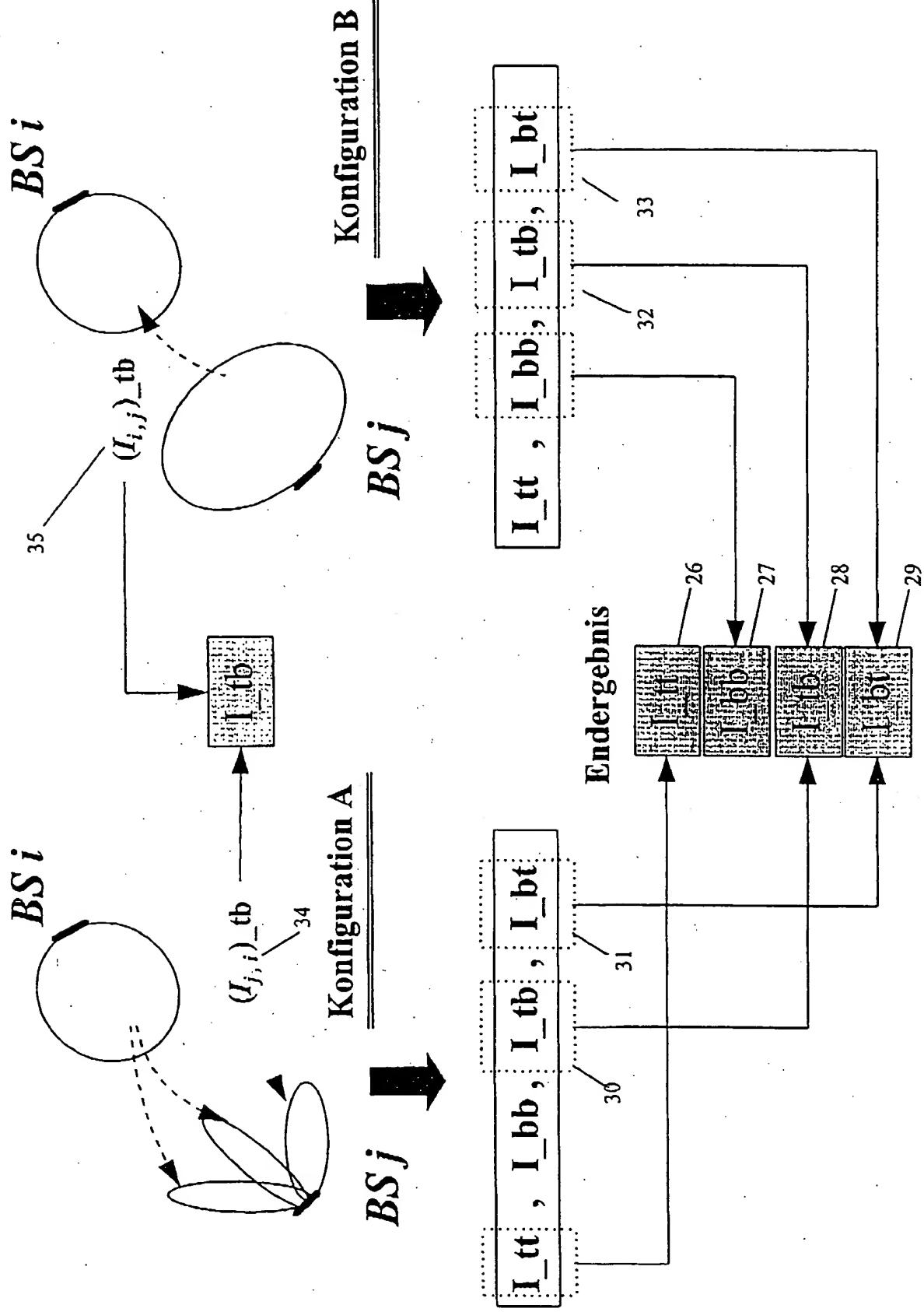
$$I_{ib,ja} = \text{Interferenzwahrscheinlichkeit}$$

(Beam *b*, BS *i* \leftarrow Beam *a*, BS *j*)

25

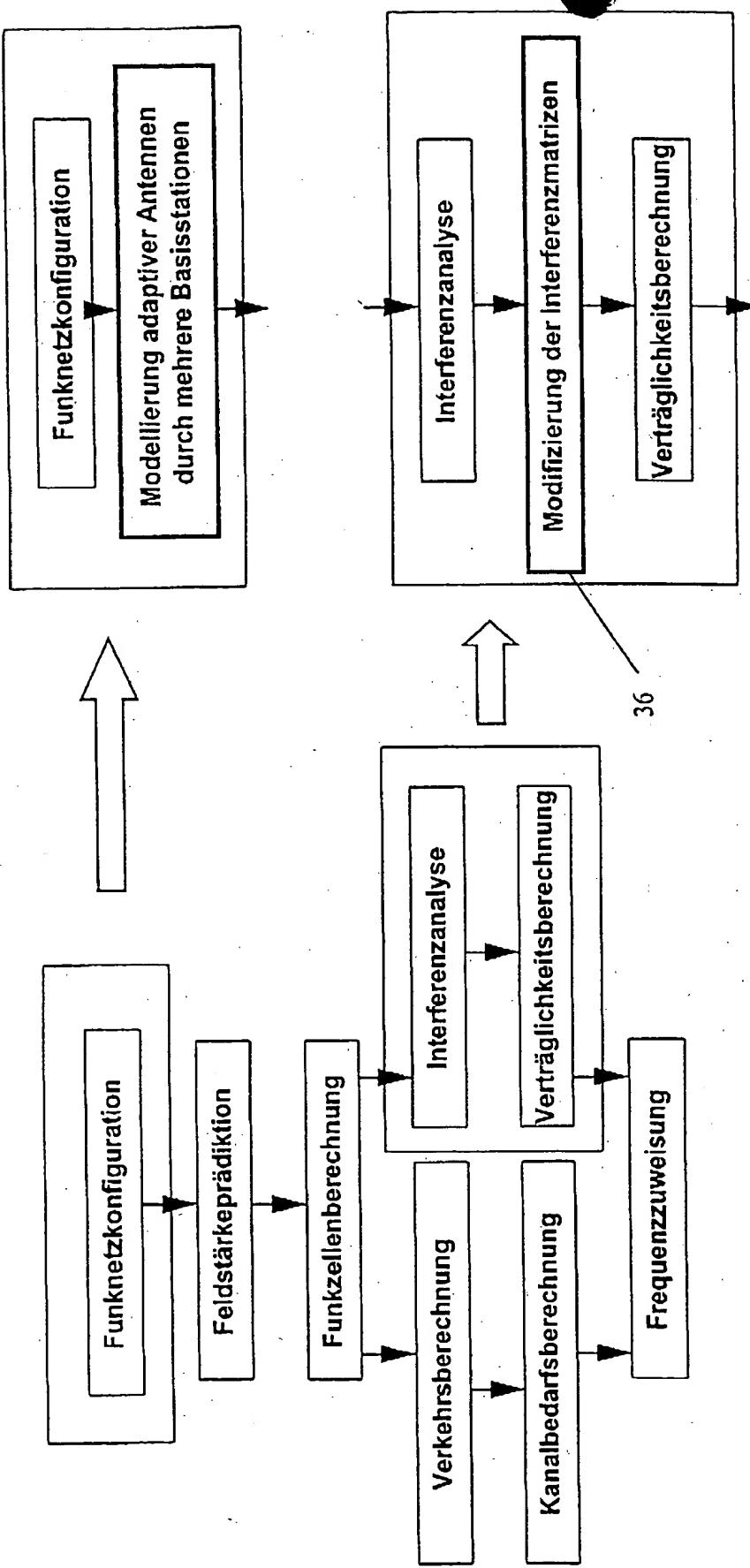
$$I_{i,j} = \sum_{b=1}^n \sum_{a=1}^n \text{Prob}\{\text{MS in Beam } b\} \cdot \text{Prob}\{\text{MS in Beam } a\} \cdot I_{ib,ja} = \frac{\sum_{b=1}^n \sum_{a=1}^n T_{ib} T_{ja} I_{ib,ja}}{\sum_{b=1}^n T_{ib} \sum_{a=1}^n T_{ja}}$$

Figur 6



Figur 7

Figur 8



36